บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนรอยเชื่อมและกำลังรับแรงของจุดต่อในเหล็กฉาก งานวิจัย ที่เกี่ยวข้องจึงประกอบด้วย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรอยเชื่อมและเหล็กฉาก รายละเอียดของงานวิจัยใน อดีตมีดังนี้

2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรอยเชื่อม

ปี ค.ศ. 1930 Weiskopf และ Male [1] ทำการทดสอบหาก่ากวามเกรียด (Strain) ในรอยเชื่อมขนานกับ แรงกระทำ (Longitudinal Weld) โดยทำการวัดบนก่ากวามเกรียดบนเหล็กแผ่นตามแนวยาวของรอย เชื่อม รายละเอียดตัวอย่างทดสอบและตำแหน่งวัดที่ก่ากวามเกรียด แสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 การทดสอบ จะอ่านก่ากวามเกรียดที่แรง 24,000 48,000 และ72,000 lb ตามลำดับ ผลทดสอบแสดงอยู่ในรูปที่ 2.2 จากผลทดสอบ ผู้วิจัยพบว่าก่ากวามเกรียดเกิดขึ้นน้อยที่กึ่งกลางของรอยเชื่อม แต่บริเวณขอบของรอย เชื่อม ก่ากวามเกรียดจะมีก่าสูง เมื่อเปรียบเทียบก่ากวามเกรียดจากการทดสอบกับทฤษฎี แสดงอยู่ใน รูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่ากวามเกรียดพฤติกรรมมีลักษณะสอดกล้องกับทฤษฎี



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างทดสอบของ Weiskopf และ Male [1]





ร**ูปที่ 2.3** ผลการเปรียบเทียบค่าความเครียดจากการทดสอบกับทฤษฎีของ Weikopf และ Male [1]

ปี ค.ศ. 1932 Hollister และ Gelman [2] ทำการทคสอบหาค่าหน่วยแรง (Stress) ที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อม ในช่วงอีลาสติก (Elastic) ตัวอย่างทคสอบใช้เหล็กแผ่นคู่เพื่อจะไม่มีผลของระยะเยื้องศูนย์ โคยมีจุดต่อ หลายรูปแบบ คังแสคงอยู่ในรูปที่ 2.4 การทคสอบใช้เครื่องมือ Huggenberger Extensometer วัคค่าการ เสียรูปตามขวางบนแผ่นเหล็ก ทั้งในแนวคิ่งและค้านข้างของตัวอย่างทคสอบ ผลการทคสอบแสคงอยู่ ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างทดสอบของ Hollister และ Gelman [2]



รูปที่ 2.5 ผลการทคสอบตัวอย่างทคสอบที่ 1-5 ของ Hollister และ Gelman [2]

ผู้วิจัยได้หาหน่วยแรงด้วยทฤษฎี Young's modulus และ Poisson's ratio ผลการทดสอบพบว่า หน่วย แรงที่เกิดขึ้นที่ขอบในรอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำ (Longitudinal Weld) ของตัวอย่างทดสอบที่ 1 และ 3 ลดลงไม่สอดกล้องกับทฤษฎีที่หน่วยแรงจะเกิดขึ้นสูงสุดที่ปลายทั้งสองของรอยเชื่อม ผล ดังกล่าวอาจเกิดความเสียหายในรอยเชื่อมที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ตัวอย่างทดสอบที่ 2 ที่ ขอบของรอยเชื่อมจะเกิดหน่วยแรงสูงสุด สอดกล้องกับทฤษฎี และตัวอย่างทดสอบที่ 4 และ 5 หน่วย แรงที่เกิดขึ้นของรอยเชื่อมก่อนข้างกระจายอย่างสม่ำเสมอ ผู้วิจัยจึงสรุปว่า รูปแบบการเชื่อมใน ตัวอย่างทดสอบที่ 5 หน่วยแรงที่ขอบของรอยเชื่อมจะลดลงและการกระจายของหน่วยแรงมีความ สม่ำเสมอตลอดกวามยาวรอยเชื่อม และรอยเชื่อมต้งฉากกับแนวแรง (Transverse Weld) จะมีกำลัง มากกว่ารอยเชื่อมขนานกับแนวแรง นอกจากนี้ผู้วิจัยได้แนะนำเกี่ยวกับกำลังรับแรงของจุดต่อภายใด้ แรงกระทำซ้ำ

ปี ค.ศ. 1941 Gibson และ Wake [3] ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของจุดต่อแบบรอยเชื่อมในเหล็ก ฉาก แต่ด้วอย่างทดสอบเกิดการวิบัติที่เหล็กฉาก เนื่องจากกำลัง over strength ของรอยเชื่อม ด้วอย่าง ทดสอบเป็นเหล็กฉากเดี่ยวและเหล็กฉากกู่ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งมีการเชื่อมในแบบที่จุดศูนย์ถ่วงของรอย เชื่อมอยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Balanced) และจุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมไม่อยู่ ในดำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Unbalanced) และจุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมไม่อยู่ ในดำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Unbalanced) ทั้งในเหล็กฉากเดี่ยวและเหล็กฉากกู่ และมี จุดต่อแบบรอยเชื่อมในหลายๆ รูปแบบดังรูปที่ 2.7 ผลของการทดสอบและการวิบัติของตัวอย่างที่ใช้ ทดสอบแสดงอยู่ในดารางที่ 2.1 จากผลการทดสอบพบว่าเหล็กฉากเดี่ยวมีการเกิดคัดแบบ Out of Plane ที่จุดต่อ ความยาวของจุดต่อและระยะเยื้องศูนย์ที่เกิดจากจุดศูนย์ถ่วงในเหล็กฉากมีผลกับการดัด แบบ Out of Plane ด้วอย่างทดสอบที่มีจุดต่อที่สั้นกว่าจะเกิดดัดแบบ Out of Plane มากกว่าตรงบริเวณ งาที่ยึดติดกับแผ่นประกับ และตัวอย่างทดสอบที่ยึดต่อด้วยปลายที่แบนของเหล็กฉาก (ด้วอย่าง ทดสอบที่ 6 และ 7) จะลดระยะเยื้องศูนย์เนื่องจากจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กฉาก ส่งผลให้การดัดแบบ Out of Plane ลดลงและทำให้กำลังรับแรงดึงสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทดสอบที่ยึดต่อแบบปกดิ ในเหล็กฉากเดี่ยวและเหล็กกู่ที่มีเชื่อมแบบ Balanced และ Unbalanced มีกำลังรับแรงของจุดต่อ แตกต่างเล็กน้อย



รูปที่ 2.6 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบเหล็กฉากคู่และเหล็กฉากเคี่ยวของ Gibson และ Wake [3]



รูปที่ 2.7 รอยเชื่อมแบบ Balance และรอยเชื่อมแบบ Unbalance ในตัวอย่างทดสอบของ Gibson และ Wake [3]

เหลี้ก	าฉากเดี่ยว	Heel Weld
ตัวอย่าง	กำลังสูงสุด	
ทคสอบที่	(Lbs.)	Toe Weld c d
1	80800	Heel Weld ฉีกบาดที่ปลายทั้งสองข้าง
2	78200	Heel Weld วิบัติแบบทันที่ทันใด
3	77300	เหล็กฉากฉีกบาดจากจุด d ไปจุด a
4	76800	Toe Weld วิบัติแบบทันทีทันใด
5	71300	เหล็กฉากฉีกขาดที่ Toes
6	86300	Heel Weld และ Toe Weld วิบัติแบบทันทีทันใด
7	88100	เหล็กฉากฉีกขาดที่กึ่งกลาง
8	79300	Heel Weld ฉีกขาดจากจุด a ไปจุด b
9	77000	เหล็กฉากฉีกบาคจากจุค a ไปจุค d
10	75800	เหล็กฉากฉีกบาดจากจุด d ไปจุด a
11	74000	Heel Weld ฉีกขาดจากจุด a ไปจุด b
12	73700	Heel Weld ฉีกขาดจากจุด a ไปจุด b
13	71200	Heel Weld ฉีกขาดจากจุด a ไปจุด b
14	75000	Heel Weld ฉีกขาดจากจุด b ไปจุด a
15	83800	เหล็กฉากฉีกขาดจากจุด d ไปจุด a
เหล่	ลึกฉากคู่	Heel Weld
ตัวอย่าง	กำลังสูงสุด	
ทคสอบที่	(Lbs.)	Toe Weld
1	176000	Heel Weld ฉีกขาดจากจุด a ไปจุด b
2	180400	ตัวอย่างทคสอบไม่เกิดการวิบัติ
3	170700	เหล็กฉากฉีกบาคจากจุด d ไปจุค a
4	172800	เหล็กฉากฉีกบาดจากจุด d ไปจุด a
5	166000	เหล็กฉากฉีกขาดที่ Toes
8	176100	Heel Weld ฉีกขาดจากจุด a ไปจุด b
10	177900	Heel Weld วิบัติแบบทันทีทันใด
11	173200	Heel Weld และ Toe Weld วิบัติแบบทันทีทันใด
13	164200	Heel Weld ฉีกขาดจากจุด a ไปจุด b

ตารางที่ 2.1 ผลการทดสอบเหล็กฉากเดี่ยวและเหล็กฉากคู่ของ Gibson และ Wake [3]

ปี ค.ศ. 1971 Butler และ Kulak [4] ทดสอบกำลังของรอยเชื่อมแบบพอก (Fillet weld) โดยทำการ ทดสอบตัวอย่าง 23 ตัวอย่างทดสอบ ใช้รอยเชื่อมขนาด ¼ in (6.35 mm) ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะเกิด การวิบัติที่รอยเชื่อม รูปแบบรอยเชื่อมแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 รอยเชื่อมขนานกับแรงที่มากระทำ (0°) กลุ่มที่ 2-4 จะเพิ่มมุมของรอยเชื่อมกับทิศทางของแรงที่มากระทำเป็น 30° 60°และ90° ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.8



ร**ูปที่ 2.8** ตัวอย่างทดสอบที่ขนานกับแรงที่กระทำและตัวอย่างทดสอบที่เพิ่มมุมกับแรงที่มากระทำ ของ Butler และ Kulak [4]

ผลการทคสอบ แสดงอยู่ในกราฟกราฟ Load-Deformation ดังในรูปที่ 2.9 ผลการทคสอบแสดงว่า กำลังของรอยเชื่อมจะเพิ่มขึ้นตามมุมของรอยเชื่อมที่มากขึ้น โดยรอยเชื่อมของตัวอย่างทคสอบที่ทำ มุมกับแรงมากระทำเป็นมุม 90° จะมีกำลังของรอยเชื่อมมากกว่ารอยเชื่อมของตัวอย่างทคสอบที่ขนาน กับแรงที่กระทำ (0°) ประมาณร้อยละ 44 แต่มุมที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การเสียรูปของรอยเชื่อมลคลง โดย ตัวอย่างทคสอบที่รอยเชื่อมขนานกับแรงที่มากระทำ (0°) จะมีการเสียรูปมากกว่าของตัวอย่างทคสอบ ที่รอยเชื่อมตั้งฉากกับแรงที่มากระทำเกือบ 4 เท่า ผู้วิจัยจึงสรุปว่า กำลังของรอยเชื่อมจะขึ้นอยู่กับ ทิสทางของแรงที่มากระทำ



กราฟ Load-Deformation ($\theta = 60 \deg$)

กราฟ Load-Deformation ($\theta = 90 \deg$)

รูปที่ 2.9 กราฟ Load-Deformation ในตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม ของ Butler และ Kulak [4]

ปี ค.ศ. 2008 Kanvinde และคณะ [5] ทำการทคสอบรอยเชื่อมแบบพอก เพื่อคาคการณ์ประสิทธิภาพ ความเสียหายของรอยเชื่อม โดยใช้วิธีกลศาสตร์การฉีกขาดแบบคั้งเดิม (traditional fracture mechanic) และแบบจำลองรูปแบบใหม่ Stress Modified Critical Strain (SMCS) ตัวอย่างทคสอบเป็นรอยเชื่อม ตั้งฉากกับแรงกระทำ (Transverse Weld) ทั้งหมด 24 ตัวอย่างทคสอบ ผลการทคสอบผู้วิจัยสรุปว่าวิธี กลศาสตร์การฉีกขาดแบบดั้งเดิมจะประมาณค่าฉีกขาดของรอยเชื่อมสูงกว่าผลที่ได้จากการทดสอบ มาก ส่วนแบบจำลอง Stress Modified Critical Strain (SMCS) ประมาณก่าการฉีกขาดของรอยเชื่อมมี กวามใกล้และแม่นยำ เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ

ปี ค.ศ. 2009 Kanvinde และคณะ [6] ทำการทคสอบรอยเชื่อมแบบพอก โคยรูปแบบรอยเชื่อมตั้งฉาก กับแรงกระทำ (Transverse Weld) และสร้างแบบจำลองไฟในต์อิลิเมนต์ เพื่อศึกษาผลกระทบของ ระยะรอยบาก (root notch) คังแสคงในรูปที่ 2.10 ที่มีผลต่อกำลังรับแรงและความเหนียวของรอยเชื่อม ตัวอย่างทคสอบใช้ลวคเชื่อมชั้นคุณภาพ E70T7-K2 และ E70T7 ผลการทคสอบพบว่ารอยบากไม่มีผล นัยสำคัญกับกำลังของรอยเชื่อม ลวคเชื่อมชั้นคุณภาพ E70T7-K2 จะมีความเหนียวของรอยเชื่อม ประมาณสองเท่าของลวคเชื่อมชั้นคุณภาพ E70T7 และแบบจำลองไฟในต์อิลิเมนต์แสคงให้เห็นว่า ระยะรอยบากไม่มีกระทบต่อกำลังรับแรงและความเหนียวของรอยเชื่อม



Initial fracture (void growth + cleavage) รูปที่ 2.10 ระยะรอยบาก root notch ของ Kanvinde และคณะ [6]

ปี ค.ศ. 2009 Picon และ Canas [7] ทำการทคสอบเปรียบเทียบกำลังของรอยเชื่อม ระหว่างมาตรฐาน ISO และ Eurocode 3 ผลการทคสอบพบว่า มาตรฐาน Eurocode 3 กำลังรอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำ (Longitudinal Weld) มีความสอคคล้องกับผลการทคสอบมากกว่า แต่ผลการทคสอบกำลังของรอย เชื่อมตั้งฉากกับแรงกระทำ (Transverse Weld) จะมีผลสอคคล้องกับมาตรฐาน ISO มากกว่า และ แบบจำลองไฟในต์อิลิเมนต์แสคงให้เห็นว่าระยะต่อทาบมีผลต่อการถ่ายแรง ระหว่างเหล็กแผ่นและ คอเชื่อม (throat)

2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเหล็กฉาก

ปี ค.ศ. 1906 Mckibben [8] ทำการทคสอบกำลังรับแรงคึงในเหล็กฉาก 27 ตัวอย่างทคสอบ ในการ ทคสอบมีทั้งเหล็กฉากเคี่ยวและเหล็กฉากคู่ ใช้จุดต่อแบบหมุดย้ำ ยึดต่องางองเหล็กฉากค้านเคียวและ ยึดต่องาทั้งสองค้านกับแผ่นประกับ แสดงอยู่รูปที่ 2.11



ร**ูปที่ 2.11** การยึดต่อตัวอย่างทคสอบของ Mckibben [8]

จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างเหล็กฉากเดี่ยวมีประสิทธิภาพรับแรงดึงร้อยละ 74 ถึงร้อยละ 87 ตัวอย่างทดสอบเหล็กฉากกู่มีประสิทธิภาพรับแรงดึงร้อยละ 77 ถึงร้อยละ 86 ตัวอย่างทดสอบที่มีการ ยึดต่อขาเหล็กฉากทั้งสองด้านมีประสิทธิภาพรับแรงดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.7 ถึงร้อยละ 8.7

ปี ค.ศ. 1934 Davis และ Boomsliter [9] ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กฉาก โดยตัวอย่างที่ใช้ ในการทดสอบมีทั้งเหล็กฉากเดี่ยวและเหล็กฉากกู่ ใช้จุดต่อยึดแบบหมุดย้ำและจุดต่อยึดแบบรอยเชื่อม มีการวัดค่าความเครียด (Strain) บริเวณตรงกลางของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ ผลการทดสอบพบว่าหน่วย แรง (Stress) ที่เกิดขึ้นบนเหล็กฉากเดี่ยวที่มีการต่อยึดแบบหมุดย้ำและต่อยึดแบบรอยเชื่อมจะกระจาย ไม่สม่ำเสมอ โดยบริเวณปลายขาที่ไม่ได้ต่อยึดของเหล็กฉากเดี่ยวจะเกิดหน่วยแรงอัด นอกจากนั้น เหล็กฉากเดี่ยวที่ต่อยึดทั้งสองแบบเกิดการดัดแบบ Out of Plane ที่จุดต่อ ส่วนเหล็กฉากกู่ที่มีการยึดต่อ แบบหมุดย้ำและยึดต่อแบบรอยเชื่อม จะมีหน่วยแรงก่อนข้างสม่ำเสมอกว่าและมีการบิดเล็กน้อยเมื่อ เปรียบเทียบกับเหล็กฉากเดี่ยว ประสิทธิภาพการรับแรงดึงในเหล็กฉากเดี่ยวและเหล็กฉากกู่ที่ต่อยึด แบบหมุดย้ำและแบบรอยเชื่อม มีประสิทธิภาพรับแรงดึงในเหล็กฉากเรื่อยละ 75 ของกำลังสูงสุดของ เหล็กฉาก ปี ค.ศ. 1963 Chesson และ Munse [10] [11] ทำการทดสอบกำลังรับแรงคึงในเหล็กฉาก ตัวอย่าง ทดสอบทำเป็นหน้าตัดประกอบในรูปแบบต่างๆ โดยที่จุดต่อเป็นแบบหมุดย้ำและแบบสลักเกลียว เพื่อหากำลังรับแรงคึงสูงสุดของตัวอย่างทดสอบ จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพกำลังรับแรงคึง ของเหล็กฉากลดลง ผู้วิจัยได้เรียกผลกระทบดังกล่าวว่า Shear Lag และสรุปผลการทดสอบไว้ดังนี้

1.) ขนาครูเจาะและการจัคเรียงจุคต่อมีผลต่อกำลังรับแรงคึง

2.) Shear Lag มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงกับเหล็กฉาก

3.) ความยาวของจุดต่อมีผลต่อ Shear Lag

ผู้วิจัยได้ ตัวกูณลดค่า Shear lag ซึ่งกำนวณได้จากสมการดังนี้

$$U = \left(1 - \frac{\bar{x}}{L}\right) \tag{2.1}$$

เมื่อ U คือ Shear Lag Factor

- _ กือ ระยะจากจุดศูนย์ของหน้าตัดถึงผิวสัมผัสของจุดยึดต่อ
- L คือ ความยาวรอยต่อในทิศทางแรงดึง

ปี ค.ศ. 1984 Regan และ Salter [12] ทำการทดสอบกำลังแรงดึงในเหล็กฉากขาเท่ากันและไม่เท่ากัน 17 ตัวอย่างทดสอบ โดยต่อยึดแบบรอยเชื่อมที่มีจุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับ จุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Unbalanced) เพื่อประเมินก่าพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล (Effective Net Area) ของเหล็กฉาก ตามข้อกำหนด BS5950 (ฉบับร่าง) และ BS449 [19] ซึ่งใช้สมการคำนวณ พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลดังนี้

ข้อกำหนด BS5950 (ฉบับร่าง)
$$a_e = a_1 + a_2 \left(\frac{3a_1}{3a_1 + a_2} \right)$$
 (2.2)

ข้อกำหนด BS449 [18]
$$a_e = a_1 + 0.5a_2$$
 (2.3)

- เมื่อ a_e คือ พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล
 - a1 คือ พื้นที่บาด้านที่ต่อยึดของเหล็กฉาก
 - a2 คือ พื้นที่ขาด้านที่ไม่ได้ต่อยึดของเหล็กฉาก

ตัวอย่างทดสอบมีการวัดก่าความเครียด (Strain) บริเวณใกล้จุดต่อและกึ่งกลางของเหล็กฉาก ข้อมูล ตัวอย่างทดสอบ แสดงดังตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบจะแสดงตารางที่ 2.3 พบว่าตัวอย่างทดสอบมีการ ดัดแบบ Out of Plane ที่จุดต่อและก่าความเกรียดที่จุดต่อบริเวณปลายขาด้านที่ไม่ได้ยึดต่อของเหล็ก ฉาก จะเกิดก่าความเครียดรับแรงอัด เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ก่าความเครียดรับแรงอัดจะก่อยๆ กลับมาเป็นก่าความเครียดรับแรงดึง ส่วนที่กึ่งกลางของเหล็กฉากจะเกิดก่าความเครียดรับแรงดัง และ ตัวอย่างทดสอบที่ใช้แผ่นเหล็กประกับหนามีระยะเกลื่อนที่ของแผ่นประกับเล็กน้อยและผลการดัด แบบ Out of Plane ลดลง

	ขนาดของ	ความยาว	ขนาด	ของแผ่น	ปะกับ	ขนาดของรอย		
ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง		⁽²⁾ (mm)		เชื้อม ⁽³⁾ (mm)		
ทคสอบ	ทคสอบ(1)	ทคสอบ						
	(mm)	(mm)	b	g	t	I	t _w	
A1	25x25x5	5550	200	173	5	200	4	
B1	50x50x5	5375	200	173	5	200	4	
B2	50x50x5	5575	200	173	5	200	4	
В3	50x50x5	5575	200	173	20	200	4	
B4	50x50x5	2000	200	173	5	200	4	
C1	100x100x8	5200	400	73	8	400	6	
C2	100x100x8	5400	400	73	8	400	6	
D1	60x <u>30</u> x6	5450	200	173	5	175	4	
D2	60x <u>30</u> x6	5650	200	173	5	175	4	
D3	<u>60</u> x30x6	5500	200	173	5	150	4	
D4	<u>60</u> x30x6	5700	200	173	5	150	4	
D5	60x <u>30</u> x6	5650	200	173	20	175	4	
D6	60x <u>30</u> x6	2000	200	173	5	175	4	
E1	65x <u>50</u> x8	5500	250	73	8	250	6	

ຕາຮາງທີ່ ງ າ	พลต้าลย่างห	เลสลาเขลา Dagan	112 Saltar [12]
YI 13 IN 11 2.2		irilion Regai	ssele Salter [12]

,

ตัวอย่าง ตัวอย่าง พอสอน		ความยาว ตัวอย่าง	ขนาด	ของแผ่น ⁽²⁾ (mm)	ปะกับ	ขนาดข เชื่อม ⁽³	01200 (mm)
ทศแอบ สี่ที่	ทคสอบ ⁽¹⁾ (mm)	ทคสอบ (mm)	b	g	t	1	t _w
E2	<u>65</u> x50x8	5750	250	98	8	225	6
F1	125x <u>75</u> x8	5200	400	73	8	400	6
F2	<u>125</u> x75x8	5250	400	98	8	375	6

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ชุดตัวอย่างทดสอบของ Regan และ Salter [12]

หมายเหตุ

¹ สำหรับเหล็กฉากขาไม่เท่ากัน ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ หมายถึง ขาเหล็กฉากที่ยึดต่อกับแผ่นปะกับ

² ดูรูปที่ 2.12 ประกอบ

³ l คือ ความยาวรอยเชื่อม และ *t* ู คือขาของรอยเชื่อม



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างทดสอบของ Regan และ Salter [12]

ตัวอย่าง	ขนาดของ		กำลัง
91 JUU IN	ตัวอย่าง	พื้นที่ (mm²)	สูงสุด
ทุพุตุดภ	ทคสอบ(mm)		(kN)
A1	25x25x5	226	103
B1	50x50x5	480	200
B2	50x50x5	480	211
В3	50x50x5	480	200
B4	50x50x5	480	226
C1	100x100x8	1550	727
C2	100x100x8	1550	767
D1	60x <u>30</u> x6	515	222
D2	60x <u>30</u> x6	515	224
D3	<u>60</u> x30x6	515	230
D4	<u>60</u> x30x6	515	228
D5	60x <u>30</u> x6	515	232
D6	60x <u>30</u> x6	515	225
E1	65x <u>50</u> x8	860	370
E2	<u>65</u> x50x8	860	368
F1	125x <u>75</u> x8	1550	667
F2	<u>125</u> x75x8	1550	712

ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบของ Regan และ Salter [12]

จากการทดสอบผู้วิจัยได้เสนอสมการ การคำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลสามารถ คำนวณหาได้จากสมการที่ (2.4) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสมการคำนวณ พื้นที่หน้าตัดสุทธิ ประสิทธิผลตามข้อกำหนด BS5950 (ฉบับร่าง) และข้อกำหนด BS449 [19] แสดงอยู่ในรูปที่ 2.13 ซึ่ง สมการที่ (2.4) มีความใกล้เกียงมากกว่า

$$a_e = a_1 + 0.8a_2 \tag{2.4}$$



ร**ูปที่ 2.13** ผลการเปรียบเทียบสมการของพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลของ Regan และ Salter [12]

ปี ค.ศ. 1993 Wu และ Kulak [13] ทำการทดสอบแรงดึงในเหล็กฉาก 24 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ทดสอบ เป็นเหล็กฉากเดี่ยวและเหล็กฉากคู่มีจุดต่อแบบสลักเกลียว เพื่อตรวจสอบผลกระทบที่ Shear lag ส่งผลต่อกำลังรับแรง ผู้วิจัยได้พิจารณาผลกระทบของ Shear Lag ประกอบด้วย

- 1.) ความยาวของเหล็กฉาก
- 2.) ความยาวของจุดต่อ
- 3.) ความหนาของเหล็กฉาก ขาด้านสั้นและด้านยาวที่ยึดต่อแผ่นประกับ
- 4.) ความยาวจากขอบปากจับถึงขอบเหล็กฉาก (ระยะ R) แสดงดังรูปที่ 2.14

ตัวอย่างทคสอบมีการติดตั้งสเตรนเกง (Strain Gauge) ที่บริเวณจุดต่อและกึ่งกลางของเหล็กฉาก รายละเอียดของตัวอย่างทคสอบแสดงอยู่ในตารางที่ 2.4 ผลการทคสอบแสดงอยู่ในตารางที่ 2.5



ตัวอย่าง ทคสอบ	ขนาคของ ตัวอย่าง ทคสอบ (mm)	ขาที่ต่อยึด (mm)	จำนวน สลัก เกลียว	ความยาว ของตัวอย่าง ทคสอบ (mm)	ระยะ Gauge (mm)	ระยะ R (mm)
S1	102x102x6.4	102	6	2036	63.5	50.8
S2	102x102x6.4	102	6	2036	63.5	101.6
S3	102x102x6.4	102	6	2036	63.5	152.4
S4	76x76x4.3	76	6	2036	44.5	50.8
S5	102x76x6.4	102	6	2096	63.5	50.8
S6	102x76x6.4	76	6	2096	44.5	50.8
S7	102x76x6.4	102	6	2776	63.5	50.8
S 8	76x51x9.5	76	6	1976	44.5	50.8
S9	76x51x4.8	76	6	1976	44.5	50.8
S10	76x51x4.8	76	4	1992	44.5	50.8
S11	76x51x4.8	76	2	1992	44.5	50.8
D1-1	102x102x6.4	102	6	1786	63.5	-
D1-2	102x102x6.4	102	6	1786	63.5	-
D1-3	102x102x6.4	102	6	1786	63.5	-
D2	76x76x4.8	76	6	1786	44.5	-
D3-1	102x76x6.4	102	6	1786	63.5	-
D3-2	102x76x6.4	102	6	1786	63.5	-
D4-1	102x76x6.4	76	6	1786	44.5	-
D4-2	102x76x6.4	76	6	1786	44.5	-
D5	102x76x6.4	102	6	2776	63.5	-
D6	76x51x9.5	76	6	1786	44.5	-
D7	76x51x4.8	76	6	1786	44.5	-
D8	76x51x4.8	76	4	1792	44.5	-
D9	76x51x4.8	76	2	1792	44.5	-

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลการทคสอบของ Wu และ Kulak [13]

หมายเหตุ ระยะ R จะไม่ใช้กับตัวอย่างทดสอบในเหล็กฉากคู่เพราะในเหล็กฉากคู่จะไม่มีผลของการคัดแบบ out of plane

ตัวอย่าง ทคสอบ	ขนาคของ ตัวอย่างทคสอบ (mm)	จำนวนสลัก เกลียว	กำลังสูงสุด (kN)	ประสิทธิภาพ รับแรง (ร้อยละ)
S1	102x102x6.4	6	513	81.2
S2	102x102x6.4	6	521	82.7
S3	102x102x6.4	6	487	77.6
S4	76x76x4.3	6	277	92.5
S5	102x76x6.4	6	446	92.5
S6	102x76x6.4	6	405	84.5
S7	102x76x6.4	6	433	90.4
S8	76x51x9.5	6	415	90.3
S9	76x51x4.8	6	234	96.4
S10	76x51x4.8	4	237	100
S11	76x51x4.8	2	198	82.5
D1-1	102x102x6.4	6	973	77.3
D1-2	102x102x6.4	6	997	79
D1-3	102x102x6.4	6	990	79.1
D2	76x76x4.8	6	492	81.8
D3-1	102x76x6.4	6	838	86.7
D3-2	102x76x6.4	6	850	88.5
D4-1	102x76x6.4	6	797	82.3
D4-2	102x76x6.4	6	782	81.8
D5	102x76x6.4	6	857	89.5
D6	76x51x9.5	6	815	89.5
D7	76x51x4.8	6	413	86.3
D8	76x51x4.8	4	429	89.7
D9	76x51x4.8	2	345	71.8

ตารางที่ 2.5 ผลของการทคสอบของ Wu และ Kulak [13]

ผลทคสอบค่าความเกรียด (Strain) ที่เกิดขึ้นในเหล็กฉากเดี่ยวและเหล็กฉากคู่ พบว่าค่าความเครียดใน เหล็กฉากเดี่ยวมีค่าไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะค่าความเครียดที่ปลายขาด้านไม่ได้ยึดต่อของเหล็กฉาก ทั้ง บริเวณจุดต่อและที่กึ่งกลางจะเกิดค่าความเกรียดรับแรงอัด แต่เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นค่าความเครียด ก่อยๆกลับมามีค่าความเครียดรับแรงดึง ส่วนเหล็กฉากคู่ค่าความเกรียดที่เกิดขึ้นก่อนข้างสม่ำเสมอ และเหล็กฉากเดี่ยวและเหล็กฉากคู่มีพฤติกรรมแตกต่างกันอย่างชัดเจน ในเหล็กฉากเดี่ยวจะเกิดการคัด แบบ Out of Plane แต่ในเหล็กฉากคู่จะไม่มีการคัดแบบ Out of Plane

ผลกระทบเนื่องจากจากความขาวของเหล็กฉากพบว่า ตัวอย่างทคสอบเหล็กฉากเคี่ยว S5 ที่มีความขาว 2096 mm มีประสิทธิภาพรับแรงคึงแตกต่างเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างทคสอบ S7 ที่มี ความขาว 2776 mm และตัวอย่างทคสอบในเหล็กฉากกู่ D3-1 และ D3-2 ที่มีความขาว 1786 mm มี กำลังแตกต่างเล็กน้อยกับตัวอย่างทคสอบ D5 ที่มีความขาว 2776 mm ผู้วิจัยจึงสรุปว่า ความขาวของ เหล็กฉากในตัวอย่างทคสอบเหล็กเคี่ยวและเหล็กฉากกู่ไม่มีผลต่อกำลังรับแรงคึง

ผลกระทบเนื่องจากกวามยาวของจุดต่อพบว่า ในตัวอย่างทดสอบที่ต่อยึดด้วยสลักเกลียว 4 ตัว จะมี ประสิทธิภาพรับแรงดึงมากกว่าตัวอย่างทดสอบที่ยึดต่อด้วยสลักเกลียว 2 ตัว ทั้งในเหล็กฉากเดี่ยวและ เหล็กฉากกู่ และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างทดสอบที่ยึดต่อสลักเกลียว 6 ตัว กับตัวอย่างทดสอบที่ยึดต่อ ด้วยสลักเกลียว 4 ตัว จะมีประสิทธิภาพรับแรงดึงไม่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงสรุปว่า จุดต่อที่ใช้สลักเกลียว 4 ตัวหรือมากกว่า มีผลทำให้กำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ผลกระทบเนื่องจากการยึดต่อขาด้านสั้นและขาด้านยาวของเหล็กฉากพบว่า ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ขา ยาวยึดต่อจะมีประสิทธิภาพการรับแรงดึงมากว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้ขาสั้นยึดต่อ ทั้งในเหล็กฉากเดี่ยว และเหล็กฉากคู่

ผลกระทบเนื่องจากความยาวจากขอบปากจับถึงขอบเหล็กฉาก (ระยะ R) พบว่า ตัวอย่างทคสอบเหล็ก ฉากเดี่ยว S1(R=51 mm) S2(R=102 mm) และ S3(R=152 mm) มีประสิทธิภาพรับแรงคึงร้อยละ 81.2 ร้อยละ 82.7 และร้อยละ 77.6 มีความแตกต่างเล็กน้อย ผู้วิจัยจึงสรุปว่า ระยะความยาว R ไม่มีผลต่อ กำลังรับแรงคึง

ปี ค.ศ. 1993 Easterling และ Giroux [14] ทคสอบหาค่า Shear Lag เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการ คำนวณตามข้อกำหนด AISC [20] โดยทำการทดสอบเหล็ก 3 ชนิด ได้แก่ เหล็กแผ่น เหล็กฉากและ แผ่นเหล็กรางน้ำ ตัวอย่างทดสอบทั้ง 3 ชนิด ต่อยึดกับแผ่นประกับด้วยรอยเชื่อมและใช้เหล็กคู่เพื่อลด ผลของการคัคแบบ Out of Plane คังข้อมูลในตางรางที่ 2.6 และใช้โปรแกรม ABAQUS สร้าง แบบจำลองไฟในต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับผลทคสอบ ผลการทคสอบแสคงอยู่ในตารางที่ 2.7 ตารางที่ 2.6 ข้อมูลการทคสอบ Easterling และ Giroux [14]

			รอยเชื่อม					
ตัวอย่าง	ขนาดของ	न्युः पु	I	W_1^{a}	V	V_2^{a}		W_3^{a}
พอสอบ	ตัวอย่าง	(in^2)	ความ	ขารอย	ความ	ขารอย	ความ	ขารอย
ทพถอบ	ทคสอบ (in)	(in)	ຍາວ	เชื่อม	ยาว	เชื่อม	ยาว	เชื่อม
			(in)	(in)	(in)	(in)	(in)	(in)
P-L1-1a	PL4x3/8	1.47	5½	1/4	-	-	5½	1/4
P-L1-1b	PL3x1/4	0.785	4¼	1/4	-	-	4¼	1/4
P-L1-2	PL3x1/4	0.783	4¼	1/4	-	-	4¼	1/4
P-L1-3	PL3x1/4	0.781	4¼	1/4	-	-	4¼	1/4
P-L2-1	PL3x1/4	0.785	5	1/4	-	-	5	1/4
P-L2-2	PL3x1/4	0.784	5	1/4	-	-	5	1/4
P-L2-3	PL3x1/4	0.777	5	1/4	-	-	5	1/4
P-B-1	PL3x1/4	0.78	3	1/4	3	1/4	3	1/4
Р-В-2	PL3x1/4	0.777	3	1/4	3	1/4	3	1/4
Р-В-3	PL3x1/4	0.783	3	1/4	3	1/4	3	1/4
L-L-1	L2x2x3x3/16	0.76	41/2	3/16	-	-	41/2	3/8
L-L-2	L2x2x3x3/16	0.761	41/2	3/16	-	-	41/2	3/8
L-L-3	L2x2x3x3/16	0.756	41/2	3/16	-	-	41/2	3/8
L-B-a1	L4x3x1/4	1.68	31/2	1/4	4	1/4	31/2	1/4
L-B-b1	L2x2x3x3/16	0.756	3	3/16	2	3/16	3	7/16
L-B-c1	L2x2x3x3/16	0.771	3	3/16	2	3/16	3	7/16
L-B-2	L2x2x3x3/16	0.764	3	3/16	2	3/16	3	7/16
L-B-3	L2x2x3x3/16	0.75	3	3/16	2	3/16	3	7/16
L-T-1	L4x3x1/4	1.67	-	-	4	1/4	-	-
C-L-1	C3x4.1	1.29	5	3/8	-	-	5	3/8
C-L-2	C3x4.1	1.28	5	3/8	-	-	S	3/8
C-L-3	C3x4.1	1.26	5	3/8	-	-	5	3/8

			รอยเชื่อม						
ຕັວວະໄວ	ขน เตของ	न्य य	V	V_1^{a}	V	V_2^{a}		W_3^{a}	
พอสอบ ตายยาง	พายชอบ	ици (in ²)	ความ	ขารอย	ความ	ขารอย	ความ	ขารอย	
импоп	(in)	(Ш)	ยาว	เชื่อม	ยาว	เชื่อม	ยาว	เชื่อม	
	(11)		(in)	(in)	(in)	(in)	(in)	(in)	
C-B-1	C3x4.1	1.24	5	3/16	3	3/16	5	3/16	
С-В-2	C3x4.1	1.19	5	3/16	3	3/16	5	3/16	
С-В-3	C3x4.1	1.22	5	3/16	3	3/16	5	3/16	
C-T-1	C3x5.4	1.58	-	-	4	1/4	-	-	
C-T-2	C3x4.1	1.19	-	-	3	3/16	-	-	

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) ข้อมูลการทดสอบ Easterling และ Giroux [14]

(a) ดูรูปที่ 2.15

P หมายถึง แผ่นเหล็ก

L หมายถึง เหล็กฉาก

C หมายถึง เหล็กรางน้ำ

L หมายถึง รอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำ (longitudinal weld)

T หมายถึง รอยเชื่อมตั้งฉากกับแนวกระทำ (transverse weld)

B หมายถึง รอยเชื่อมขนาน (longitudinal weld) และ ตั้งฉากกับแนวกระทำ (transverse weld)



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างทดสอบ Easterling และ Giroux [14]

ตัวอย่าง ทคสอบที่	ขนาดของ ตัวอย่าง ทคสอบ (in)	กำลัง สูงสุด P _u /2 (k)	Shear Lag (U _e) จาก คำนวณ	Shear Lag (U _t) จาก ทฤษฎี	U _e /U _t
P-L1-1a	PL4x3/8	99.0 ^ª	0.92	0.75	1.23
P-L1-1b	PL3x1/4	53.7	0.94	0.75	1.25
P-L1-2	PL3x1/4	56.0	0.98	0.75	1.31
P-L1-3	PL3x1/4	57.5	1.00	0.75	1.33
P-L2-1	PL3x1/4	55.9	0.98	0.87	1.13
P-L2-2	PL3x1/4	55.8	0.98	0.87	1.13
P-L2-3	PL3x1/4	54.4	0.96	0.87	1.10
P-B-1	PL3x1/4	51.2	0.90	1.00	0.90
Р-В-2	PL3x1/4	56.1	0.99	1.00	0.99
Р-В-3	PL3x1/4	55.7	0.97	1.00	0.97
L-L-1	L2x2x3x3/16	50.0	0.81	0.87	0.93
L-L-2	L2x2x3x3/16	50.5	0.82	0.87	0.94
L-L-3	L2x2x3x3/16	50.4	0.82	0.87	0.94
L-B-a1	L4x3x1/4	98.7	0.82	0.8	1.03
L-B-b1	L2x2x3x3/16	49.5 ^b	-	0.81	-
L-B-c1	L2x2x3x3/16	50.0	0.8	0.81	0.99
L-B-2	L2x2x3x3/16	46.2	0.75	0.81	0.93
L-B-3	L2x2x3x3/16	48.8	0.8	0.81	0.99
L-T-1	L4x3x1/4	55.8 ^b	-	0.59	-
C-L-1	C3x4.1	87.0 [°]	0.89	0.91	0.98
C-L-2	C3x4.1	86.7 [°]	0.90	0.91	0.99
C-L-3	C3x4.1	86.9 [°]	0.91	0.91	1.00

ตารางที่ 2.7 ผลการทคสอบ Easterling และ Giroux [14]

-					
	ขนาดของ	ถ้าลัง	Shear	Shear	
ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	าาถง	Lag (U _e)	Lag (U _t)	TT /TT
ทคสอบที่	ทคสอบ	ถูงถุท เ	จาก	จาก	U_{e}/U_{t}
	(in)	$P_{u}/2$ (k)	คำนวณ	ทฤษฎี	
С-В-1	C3x4.1	85.1°	0.92	0.91	1.01
С-В-2	C3x4.1	84.0 [°]	0.92	0.91	1.01
С-В-3	C3x4.1	83.1	0.88	0.91	0.97
C-T-1	C3x5.4	60.0 ^b	-	0.44	-
C-T-2	C3x4.1	32.3 ^b	-	0.49	-

ตารางที่ 2.7 (ต่อ) ผลการทคสอบ Easterling และ Giroux [14]

(a) กำลังของตัวอย่างทคสอบเกินกำลังของเครื่องที่ใช้ทคสอบ

(b) เกิดการวิบัติที่รอยเชื่อม

(c) เกิดการวิบัติตลอดเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด (Gross section)

ผลการทคสอบตัวอย่างทคสอบเหล็กแผ่นและตัวอย่างทคสอบเหล็กฉาก พบว่าการเพิ่มรอยเชื่อมตั้ง ฉากกับแรงกระทำ (Transverse Weld) ไม่มีผลต่อตัวคูณลดค่า Shear Lag โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่าง ทคสอบที่ไม่มีรอยเชื่อมตั้งฉากกับแรงกระทำ และผลทคสอบตัวอย่างทคสอบเหล็กรางน้ำ พบว่าค่า Shear Lag ที่ได้จากการทคสอบมีความใกล้เคียงกับค่า Shear Lag จากทฤษฎี เมื่อนำผลจากการ ทคสอบไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมพบว่ามีความสอคลล้องกัน ผู้วิจัยได้สรุปได้ว่า

- 1.) Shear lag จะมีผลต่อกำลังรับแรงของเหล็กฉากและเหล็กแผ่น
- ความยาวของรอยเชื่อมมีผลเล็กน้อยต่อตัวคูณลดลงค่า Shear Lag ในเหล็กแผ่นที่รอย เชื่อมขนานกับแนวแรง
- 3.) รอยเชื่อมตั้งฉากกับแรงกระทำในเหล็กฉากจะไม่มีผลต่อตัวกูณลดลง Shear Lag
- 4.) ควรใช้ค่า Shear Lag ไม่เกิน 0.9

ปี ค.ศ. 1999 Petretta [15] ทคสอบกำลังรับแรงคึงในเหล็กฉาก 23 ตัวอย่างทคสอบ ใช้จุดต่อแบบรอย เชื่อม เพื่อหาผลกระทบของ Shear Lag จากการทคสอบตัวอย่างทคสอบ ผู้วิจัยได้สรุปผลการทคสอบ ดังนี้

- ตัวอย่างทดสอบเหล็กฉากเดี่ยวมีการดัดแบบ Out of Plane ที่แผ่นประกับ ผลการดัด ดังกล่าวอาจมีผลต่อเหล็กฉากและรอยเชื่อม
- การเพิ่มรอยเชื่อมตั้งฉากกับแนวแรง (Transverse Weld) มีผลเพียงเล็กน้อยมาก กำลังรับ แรงดึงบนพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล
- 3.) ความยาวของตัวอย่างทคสอบไม่มีผลต่อกำลังรับแรงคึง
- 4.) ตำแหน่งของรอยเชื่อมฝั่งขาค้านที่ยึคต่อของเหล็กฉาก (Toe Weld) มีผลเพียงเล็กน้อยต่อ กำลังรับแรงคึงบนพื้นที่หน้าตัคสุทธิประสิทธิผล
- 5.) รอยเชื่อมฝั่งขาด้านที่ไม่ได้ยึดต่อของเหล็กฉาก (Heel Weld) มีความสำคัญต่อการถ่ายแรง ของขาด้านที่ไม่ได้ยึดต่อของเหล็กฉากบริเวณจุดยึดต่อ
- ความยาวที่เพิ่มขึ้นของจุดต่อ มีผลกับกำลังรับแรงดึงบนพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล เพิ่มขึ้น

ปี ค.ศ. 2002 Bauer และ Benaddi [16] ได้ทำการทดสอบแรงคึงในเหล็กฉากกู่ 6 ตัวอย่าง โดยเหล็ก ฉากที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งขาที่เท่ากันและขาที่ไม่เท่ากัน จุดต่อด้วยรอยเชื่อมแบบที่มีจุดศูนย์ถ่วง ของรอยเชื่อมไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Unbalanced) และไม่มีการเชื่อมตั้ง ฉาก (Transverse Weld) กับแรงกระทำ เพื่อศึกษาผลกระทบจาก Shear Lag โดยนำผลการทดสอบ เปรียบเทียบกับการออกแบบตามข้อกำหนด States Design of Steel Structures (CSA 1994) [21] การ ออกแบบตัวอย่างทดสอบทั้งหมด เป็นไปตามข้อกำหนด CSA (1994) [21] ซึ่งมีขั้นตอนการกำนวณ จากสมการดังนี้

การวิบัติแบบเกิดการครากบนพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (Yielding Tensile)

$$T_r = F_y A_g \tag{2.5}$$

การวิบัติแบบเกิดการฉีกขาดบนพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล (Rupture Tensile)

$$T_r = 0.85 A_{ne} F_u \tag{2.6}$$

- เมื่อ T_r คือ กำลังระบุ (Nominal Tensile Strength)
 - *F*, คือ กำลังจุดครากของวัสดุ
 - *F*_u คือ กำลังประลัยของวัสดุ
 - A กือ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด
 - A'_ne คือ พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล
 - 0.85 คือ ตัวคูณลดค่ากำลังประลัยของวัสคุ

ในจุดต่อแบบรอยเชื่อม พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลสามารถกำนวณได้ดังนี้

$$A_{ne} = A_{ne1} + A_{ne2} + A_{ne3}$$
(2.7)

เมื่อ A_{ne1} A_{ne2} และ A_{ne3} คือ พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลของส่วนที่ยึดต่อ สามารถคำนวณหาได้ ดังนี้

สำหรับชิ้นงานที่มีการยึดต่อด้วยรอยเชื่อมตั้งฉากกับแรงกระทำ (Transverse Weld)

$$A_{ne1} = wt \tag{2.8}$$

เมื่อ w คือ ความกว้างของชิ้นงาน

t คือ ความหนาของชิ้นงาน

้สำหรับชิ้นงานที่มีการยึดต่อด้วยรอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำ (Longitudinal Weld)

โดยที่
$$L \ge 2w$$
 $A_{ne2} = 1.00wt$
 $2w \ge L \ge 1.5w$ $A_{ne2} = 0.87wt$ (2.9)
 $1.5w \ge L \ge w$ $A_{ne2} = 0.75wt$

เมื่อ L คือ ค่าเฉลี่ยความยาวของรอยเชื่อมที่ขนานกับแรงกระทำทั้งสองข้าง

สำหรับขาด้านที่ไม่ได้ยึดต่อของเหล็กฉาก

$$A_{ne3} = \left(1 - \frac{\bar{x}}{L}\right) wt \tag{2.10}$$

เมื่อ \bar{x} คือ ระยะจากจุดศูนย์ของหน้าตัดถึงผิวสัมผัสของจุดยึดต่อ

L คือ ความยาวรอยต่อในทิศทางแรงคึง

ข้อมูลตัวอย่างทคสอบแสคงอยู่ในตารางที่ 2.8 และผลจากการทคสอบในตารางที่ 2.9 จากการทคสอบ ผู้วิจัยได้สรุปว่าการออกแบบเหล็กฉากคู่ที่ต่อยึคด้วยรอยเชื่อมสามารถออกแบบตามมาตรฐาน States Design of Steel Structures (CSA 1994) [21] ได้

		ขาที่ต่อ	พับที่หน้าตัด	ขนาด	ความยาว	จุด	กำลัง
ตัวอย่าง	ขนาดของ	ยึก ปีก	ของเหล็กฉาก	ขา	ของรอย 	คราก	สูงสุด
ทคสอบ	ตัวอย่าง	(mm)	หนึ่งข้าง (mm²)	เชื่อม	เชื่อม	F _y	F _u
	ทคสอบ (mm)			(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)
1	2L-38x38x4.8	38	340	5	87	393	531
2	2L-51x51x4.8	51	461	5	112	349	492
3	2L-64x51x4.8	51	521	5	122	318	461
4	2L-64x64x4.8	64	582	5	136	345	499
5	2L-76x51x4.8	51	582	5	138	339	487
6	2L-76x76x4.8	76	703	5	169	348	527

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลตัวอย่างทคสอบของ Bauer และ Benaddi [16]

ตัวอย่าง ทคสอบ	ขนาดของ		กำลังจากท	ฤษฎี (kN)	กำลังจากการทคสอบ (kN)		
	ตัวอย่าง					จุคคราก	กำลังสูงสุด
	ทคสอบ (mm)	$A_g F_y$	$0.85 A'_{ne} F_{u}$	$A'_{ne}F_{u}$	A_gF_u	T_y	T _u
1	2L-38x38x4.8	267	271	318	361	268	353
2	2L-51x51x4.8	322	341	401	453	288	414
3	2L-64x51x4.8	331	348	410	480	365	490
4	2L-64x64x4.8	402	437	514	581	398	566
5	2L-76x51x4.8	394	399	470	567	401	561
6	2L-76x76x4.8	489	555	653	741	502	713

ตารางที่ 2.9 ข้อมูลผลการทดสอบของ Bauer และ Benaddi [16]

A'_{ne} คือ เนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล (Effective Net Cross Sectional Area)

ปี ค.ศ. 2009 Zhu และคณะ [17] ศึกษาผลกระทบของ Shear Lag ในเหล็กฉากเคี่ยวขาไม่เท่ากัน ต่อยึด ด้วยรอยเชื่อมกับแผ่นประกับโดยทำการทดสอบและใช้โปรแกรม ABAQUS สร้างแบบจำลองไฟ ในต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับผลทดสอบ เพื่อนำผลทดสอบเปรียบเทียบกับการออกแบบตาม ข้อกำหนดในปัจจุบันได้แก่ AISC-LRFD [20] CSA-S16-01 [21] และ BS5950 [22] การทดสอบ ประกอบด้วยตัวแปรดังนี้

- 1.) ใช้บาด้านสั้นและด้านขาวของเหล็กฉากยึดต่อกับแผ่นเหล็กประกับ
- รอยเชื่อมมีจุดศูนย์ถ่วงอยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Balanced) และที่ ไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Unbalanced)

3.) ความยาวของรอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำ (Longitudinal Weld)

ตัวอย่างทคสอบมีการติคตั้งสเตรนเกจ (Strain Gauge) บริเวณจุคต่อและกึ่งกลางของเหล็กฉาก ดัง แสดงอยู่ในรูปที่ 2.16 ข้อมูลตัวอย่างทคสอบและผลการทคสอบแสดงตารางที่ 2.10



รูปที่ 2.16 ตำแหน่งสเตรนเกจบนตัวอย่างทคสอบของ Zhu และคณะ [16]

ตารางที่ 2.10 ข้อมูลตัวอย่างทคสอบและผลการทคสอบของ Zhu และคณะ [17]

ตัวอย่าง ทคสอบ	ความยาว รอยเชื่อม ^a (mm)		ขาที่ต่อ ยึด ()	F _u A _g	กำลังสูงสุค ^b (kN)		ประสิทธิ ภาพรับ	P_{test}/P_{FEM}
	L ₁	L ₂	(mm)		P _{test}	$\boldsymbol{P}_{\text{FEM}}$	1131	
A1-200BL	120	280	125	804	786(F)	803	0.98	0.98
A1-200BS	80	320	75	804	782(F)	754	0.97	1.04
A1-200UL	200	200	125	804	760(F)	776	0.95	0.98
A1-250UL	250	250	125	804	782(F)	790	0.97	0.99
A1-300UL	300	300	125	804	757(W)	769	-	-
A1-200US	200	200	75	804	665(F)	661	0.83	1.01
A1-250US	250	250	75	804	657(W)	682	-	-
A1-300US	300	300	75	804	756(F)	742	0.94	1.02

ตัวอย่าง ทคสอบ	ความยาว รอยเชื่อม ^ª (mm)		ขาที่ต่อ ยึด	F _u A _g	กำลังสูงสุ	ัด [♭] (kN)	ประสิทธิ ภาพรับ	P _{test} /P _{FEM}
	L_1	L_2	(mm)		P _{test}	$\boldsymbol{P}_{\text{FEM}}$	1124	
A2-200BL	120	280	150	973	990(F)	965	1.02	1.03
A2-200BS	70	330	75	973	896(W)	885	-	-
A2-200BS-d	70	330	75	973	936(F)	920	0.96	1.02
A2-200UL	200	200	150	973	956(W)	958	-	-
A2-200US	200	200	75	973	796(F)	817	0.82	0.97

ตารางที่ 2.10 (ต่อ) ข้อมูลตัวอย่างทดสอบและผลการทดสอบของ Zhu และคณะ [17]

(a) ดูรูปที่ 2.17 ประกอบ

A1 หมายถึง เหล็กฉาก 125x75x10 mm

A2 หมายถึง เหล็กฉาก 150x75x10 mm

B หมายถึง จุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมอยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Balanced)

U หมายถึง จุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Unbalanced)

L หมายถึง ขาด้านยาวของเหล็กฉากที่ต่อยึดกับแผ่นประกับ

S หมายถึง ขาด้านสั้นของเหล็กฉากที่ต่อยึดกับแผ่นประกับ

d หมายถึง ทำการทดสอบซ้ำ

P_{test} หมายถึง ผลจากการทคสอบ

P_{FEM} หมายถึง ผลจากโปรแกรม ABAQUS

F หมายถึง เกิดการวิบัติตลอดเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด (Gross section)

W หมายถึง เกิดการวิบัติที่รอยเชื่อม





จากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างทดสอบมีการเกิดการคัดแบบ Out of Plane ที่จุดต่อ สังเกตจากเหล็ก ฉากเริ่มมีการเคลื่อนที่ออกค้านข้าง ซึ่งจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กฉากมีแนวโน้มเข้าใกล้กับแนวแรง และ ผลการวัดค่าความเครียดที่ปลายขาด้านไม่ได้ยึดต่อของเหล็กฉากในตำแหน่งที่ 6 และ12 บริเวณจุดต่อ และกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบ พบว่าจะเกิดค่าความเครียดรับแรงอัด เนื่องจากผลของ Shear Lag และ ระยะเยื้องศูนย์ ส่วนในตำแหน่งอื่นๆจะค่าความเครียดรับแรงดึง เมื่อแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าความเครียด ในตำแหน่งที่ 6 และ 12 จะค่อยๆกลับมาเป็นค่าความเครียดรับแรงดึง เมื่อแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าความเครียด นู่ ตำแหน่งที่ 13-18 ผู้วิจัยไม่ได้แสดงผลทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลที่ได้จาก โปรแกรม ABAQUS พบว่ามีความใกล้เกียงกัน



ผลกระทบเนื่องจากการยึดต่อขาด้านสั้นและด้านยาวของเหล็กฉากยึดต่อพบว่า ตัวอย่างทดสอบรอย เชื่อมแบบ Unbalanced ที่ใช้ขาด้านยาวยึดต่อจะมีกำลังรับแรงดึงสูงกว่า ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ขาด้าน สั้นยึดต่อ เนื่องจากขาด้านยาวมีพื้นที่หน้าตัดที่ยึดต่อมากกว่าและระยะเยื้องสูนย์เนื่องจากจุดสูนย์ถ่วง ของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ขาด้านสั้นยึดต่อมีระยะเยื้องสูนย์มากกว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้ขาด้านยาวยึด ต่อ ในตัวอย่างทดสอบรอยเชื่อมแบบ Balanced การใช้ขาด้านสั้นหรือด้านยาวยึดต่อไม่มีผลกระทบต่อ กำลังรับแรงดึง

ผลกระทบเนื่องจากการเชื่อมแบบ Unbalanced พบว่าตัวอย่างทคสอบที่มีรอยเชื่อมแบบ Balanced จะ มีกำลังรับแรงดึงมากกว่าตัวอย่างทคสอบที่มีรอยเชื่อมแบบ Unbalanced ทั้งที่ใช้ขาด้านสั้นและด้าน ยาวยึดต่อ ผลกระทบเนื่องจากความขาวของรอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำ พบว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้ขาด้านขาว ยึดต่อ ส่งผลให้กำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ขาด้านสั้นยึดต่อความขาวที่ เพิ่มขึ้นของรอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำ มีผลต่อกำลังรับแรงดึง จากการผลทดสอบ ผู้วิจัยคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลที่ได้จาการทดสอบเปรียบเทียบกับ พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลที่คำนวณตามข้อกำหนดในปัจจุบัน (AISC-LRFD [20] CSA-S16-01 [21] และ BS5950 [22]) สรุปได้ว่า กำลังรับแรงดึงของเหล็กฉากสามารถออกแบบตามข้อกำหนดใน ปัจจุบันได้

ปี ค.ศ. 2013 Fang และคณะ [18] ทำการทดสอบผลกระทบของ Shear Lag ในเหล็กฉากและเหล็กรูป ดัวทีที่ใช้จุดต่อแบบรอยเชื่อม โดยตัวอย่างทดสอบเหล็กฉากใช้ขาด้านสั้นยึดต่อกับแผ่นประกับแบบ จุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมอยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Balanced) และไม่ได้อยู่ใน ตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Unbalanced) และตัวอย่างทดสอบเหล็กรูปตัวทีจะเพิ่มความ ยาวรอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำ (Longitudinal Weld) และความกว้างปีกของเหล็กรูปตัวที เพื่อศึกษา ของผลกระทบของ Shear Lag และหาตัวคูณลดค่าของแรงดึงจากการฉีดขาดบนพื้นที่หน้าตัดสุทธิ ประสิทธิผล (Tensile Rupture) ตัวอย่างทดสอบมีการติดตั้งสเตรนเกจ (Strain Gauge) บริเวณจุดต่อ และกิ่งกลางของตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงอยู่ในรูป 2.19 รายละเอียดข้อมูลตัวอย่างทดสอบและผลการ ทดสอบแสดงอยู่ในตารางที่ 2.11



ร**ูปที่ 2.19** ตำแหน่งสเตรนเกจบนตัวอย่างทคสอบของ Fang และคณะ [18]

ตัวอย่าง ทคสอบ	ขนาด	เต ั วอย่า	งทคสา	อบ	ความยาวรอยเชื่อม ^ь (mm)			F_uA_g	กำลัง	ประสิทธิภาพ	
		(mn	n)					(kN)	สูงสุท	การรับแรง	
	А	В	t	Т	L_1	L_2	L ₃		(kN)		
A1-170B	60	30	6	-	270	70	30	208	205(M)	0.99	
A1-170U	60	30	6	-	170	170	30	208	202(C)	0.97	
A2-200B	75	50	8	-	310	90	50	649	489(C)	0.75	
A2-250U	75	50	8	-	200	200	50	649	463(C)	0.71	
A3-215B	60	50	6	-	330	100	50	259	245(C)	0.95	
A3-215U	60	50	6	-	215	215	50	259	250(M)	0.97	
A4-305B	125	75	10	-	490	120	75	713	709(C)	0.99	
A4-305U	125	75	10	-	305	305	75	713	665(F)	0.92	
A5-335B	150	75	12	-	540	130	75	907	842(C)	0.93	
A5-335U	150	75	12	-	335	335	75	907	757(C)	0.83	
A5-380B	150	75	12	-	590	170	0	907	833(C)	0.90	
A5-380U	150	75	12	-	380	380	0	907	813(C)	0.90	
T1-200	127	102	6	8	200*		102	832	747(C)	0.94	
T1-200-d	127	102	6	8	200*		102	832	785(C)	0.93	
T1-250	127	102	6	8	250*		102	832	771(C)	0.92	

ตารางที่ 2.11 ข้อมูลตัวอย่างทคสอบและผลการทคสอบของ Fang และคณะ [18]

ตัวอย่าง ทดสอบ	ขนาด	ตัวอย่า (mm	งทคสย า)	บบ ^ª	ความยาวรอยเชื่อม ^ь (mm)			หากัง F _u A _g สูงสุด	ประสิทธิภาพ	
	А	В	t	Т	L_1	L ₂	L ₃	(KN)	(kN)	1113371134
T1-300	127	102	6	8	300*		102	832	762(C)	0.95
T1-200	76	152	6	7	200*		152	612	579(W)	0.94
T1-200-d	76	152	6	7	200*		152	612	577(C)	0.82
T1-250	76	152	6	7	250*		152	612	588(C)	0.96
T1-300	76	152	6	7	300*		152	612	576(C)	0.94

ตารางที่ 2.11 (ต่อ) ข้อมูลตัวอย่างทคสอบและผลการทคสอบของ Fang และคณะ [18]

(a) ดูรูปที่ 2.20 ประกอบ

(b) ดูรูปที่ 2.21 ประกอบ

A หมายถึง ตัวอย่างทคสอบเหล็กฉาก

T หมายถึง ตัวอย่างทคสอบเหล็กรูปตัวที

B หมายถึง จุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมอยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Balanced)

U หมายถึง จุคศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อม ไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุคศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Unbalanced)

d หมายถึง ทำการทคสอบซ้ำ

* หมายถึง รอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำ (Longitudinal Weld)

C หมายถึง เกิดการวิบัติที่ขอบจุดยึดต่อของตัวอย่างทดสอบ

M หมายถึง เกิดการวิบัติที่กึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบ

W หมายถึง เกิดการวิบัติที่รอยเชื่อม



ร**ูปที่ 2.20** ขนาดตัวอย่างทดสอบของ Fang และคณะ [18]



ร**ูปที่ 2.21** ความยาวของตัวอย่างทคสอบของ Fang และคณะ [18]

ผลการทดสอบค่าความเครียด (Strain) บนตัวอย่างทดสอบ แสดงอยู่ในรูปที่ 2.22 แสดงให้เห็นว่า ค่า ความเครียดจะกระจายไม่สม่ำเสมอบริเวณจุดต่อ เนื่องจากผลกระทบของ Shear Lag และระยะเยื้อง สูนย์เนื่องจากจุดสูนย์ถ่วงของตัวอย่างทดสอบ โดยค่าความเครียดที่ปลายขาด้านไม่ได้ยึดต่อของเหล็ก ฉากและที่ปลายเอวของเหล็กรูปตัวที (ตำแหน่งที่ 6) จะเกิดค่าความเครียดรับแรงอัดและก่อยๆ กลับมา เป็นค่าความเครียดรับแรงดึงเมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเครียดที่กิ่งกลางตัวอย่างทดสอบ กระจายตัวค่อนข่างสม่ำเสมอ (ตำแหน่ง 7 8 และ 9) ที่ขาด้านที่ยึดต่อของเหล็กฉากและที่ปิกของเหล็ก รูปตัวที อย่างไรก็ตามค่าความเครียดบริเวณกึ่งกลางที่ปลายขาด้านไม่ได้ยึดต่อและที่ปลายเอว จะเกิด ค่าความเครียดรับแรงอัดเหมือนกับก่าความเครียดบริเวณจุดต่อ ส่วนก่าความเครียดในตำแหน่งที่ 13-18 ผู้วิจัยไม่ได้แสดงผลทดสอบ



ร**ูปที่ 2.22** ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนเหล็กฉากและเหล็กรูปตัวทีของ Fang และคณะ [18]

จากผลการทดสอบ ผลกระทบเนื่องจากการเชื่อมแบบ Unbalanced ในตัวอย่างทดสอบเหล็กฉากที่มี รอยเชื่อมแบบ Balanced จะมีประสิทธิภาพรับแรงคึงของเหล็กฉากสูงกว่า เหล็กฉากที่มีรอยเชื่อมแบบ Unbalanced อยู่ประมาณร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 12 และในตัวอย่างทดสอบ A5 โดยจะมีตัวอย่างทดสอบ ที่เชื่อมขนานและตั้งฉากกับแรงกระทำ (A5-335B และ A5-335U) และตัวอย่างทดสอบที่เชื่อมขนาน กับแรงกระทำอย่างเดียว (A5-380B และ A5-380U) เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างทดสอบรอยเชื่อมแบบ Balanced พบว่าประสิทธิภาพการรับแรงคึงใกล้เดียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างทดสอบ A5-335U แสดงให้เห็นว่าความยาวรอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำที่มีความยาวกว่าอาจมีประสิทธิภาพรับ แรงคึงคีกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีการเพิ่มรอยเชื่อมตั้งฉากกับแรงกระทำ ในเหล็กฉากที่ยึดต่อขาด้านสั้น ผลกระทบเนื่องจากการเพิ่มความยาวรอยเชื่อมขนานกับแรงกระทำและความกว้างของปีกในตัวอย่าง ทคสอบเหล็กรูปตัวที พบว่าความยาวที่เพิ่มขึ้นของรอยเชื่อมซึ่งขนานกับแรงกระทำและความกว้างปีก ไม่มีผลต่อกำลังรับแรงดึง

จากผลการทดสอบผู้วิจัยได้แนะนำตัวกูณลดค่าของกำลังรับแรงดึงจากการฉีกขาดบนพื้นหน้าตัดสุทธิ ประสิทธิเท่ากับ 0.75 ซึ่งมีค่าตรงกับข้อกำหนดของ AISC –LRFD [20] และ CSA-S16-09 [21]

2.2 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดของ American Institute of Steel Construction (AISC 2010) [20] ฉบับปัจจุบัน ได้แนะนำ ว่า การออกแบบจุดต่อในเหล็กฉากเดี่ยว เหล็กฉากคู่และองค์อาคารที่คล้ายกันไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง ผลของการเยื้องศูนย์ของรอยเชื่อม เมื่อองค์อาคารรับแรงดึงแบบสถิต (Static Load)

2.3 สรุปปัญหาที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าผู้วิจัยส่วนใหญ่ทดสอบกำลังรับแรงของเหล็ก ถึงแม้ว่างานวิจัยของ Gibson และ Wake [3] ทำการทดสอบหากำลังรับแรงของจุดต่อแบบรอยเชื่อมในเหล็กฉาก แต่ ด้วอย่างทดสอบส่วนใหญ่กลับเกิดการวิบัติที่เหล็กฉาก ซึ่งไม่ใช่กำลังรับแรงของจุดต่อทั้งหมด และ ผลทดสอบของ Davis และ Boomsliter [9] Regan และ Salter [12] Wu และ G.L. Kulak [13] Petretta [15] และ Zhu และคณะ [17] พบว่าในเหล็กฉากเดี่ยวฉากที่ยึดต่อแบบหมุดย้ำ สลักเกลียว หรือรอย เชื่อมที่มีจุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมอยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Balanced) และไม่ อยู่ดำแหน่งกับจุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมอยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Balanced) และไม่ อยู่ดำแหน่งกับจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด (Unbalanced) จะมีพฤติกรรมการดัดแบบ Out of Plane และ ข้อกำหนด AISC (2010) [20] จะไม่กำนึงถึงผลการเยื้องศูนย์ของรอยเชื่อม ทั้งในเหล็กฉากเดี่ยวและ เหล็กฉากกู่ หรือ องก์อาการที่กล้ายกัน เมื่อองก์อาการรับแรงดึงแบบสถิต (Static Load) จากผลการเชื่อมแบบ Unbalanced ในเหล็กฉากและผลการดัดแบบ Out of Plane อาจจะมีผลกระทบ ต่อกำลังรับแรงของจุดต่อได้ การศึกษากำลังรับแรงของจุดต่อแบบรอยเชื่อมในเหล็กฉากจึงมีความ จำเป็นอย่างยิ่งกับการออกแบบจุดต่อ

2.4 การวิบัติของรอยเชื่อมและพื้นที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม

การวิบัติของรอยเชื่อมแบบพอก (Fillet weld) จะเกิดขึ้นในระนาบที่มีพื้นที่น้อยที่สุด เรียกว่าระนาบ วิบัติ (failure plane) เพราะคอเชื่อม (throat) เป็นระยะสั้นที่สุดของขาเชื่อม (leg size : *a*) ระยะคอเชื่อม จะวัดจากมุมของรอยเชื่อมไปตั้งฉากกับยังของรอยเชื่อม ดังรูปที่ 2.23 ระยะดังกล่าวจะเรียกว่า ความ หนาคอประสิทธิผล (effective throat thickness : *t*,) เมื่อรอยเชื่อมมีขนาดขาเชื่อมเท่ากัน ระนาบการเกิดวิบัติจะทำมุม 45 องศากับขนาดขาเชื่อม ซึ่งความ หนาคอประสิทธิผลจะมีความยาวเท่ากับ 0.707เท่า ของขนาดขาเชื่อมและความยาวของรอยเชื่อม เท่ากับ *L* พื้นที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม (effective weld area : *A*,) กำนวณดังนี้

$$A_{w} = 0.707(a)(L) \tag{2.22}$$

- เมื่อ $A_{\!_{\!W}}$ คือ พื้นที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม (cm^2)
 - *a* คือ ขนาดขาเชื่อม (cm)
 - L คือ ความยาวรอยเชื่อม (cm)



รูปที่ 2.23 ลักษณะของรอยเชื่อมแบบพอก (Fillet weld)